

## **МЕТАЛОГІДРИДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАПОБІГАННЯ ВИНИКНЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ У СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАШИН**

Охолодження електромашин, що працюють у вибухонебезпечних приміщеннях, а також охолодження під час роботи турбокомпресорів (ТГ), є найважливішим процесом. Наприклад, для ТГ потужністю до 30 МВт застосовується замкнута система повітряного охолодження. Якщо потужність перевищує 30 МВт, повітряне середовище замінюється водневим.

Використання водню в якості теплоносія дозволяє збільшити коефіцієнт тепловіддачі з поверхонь, що охолоджуються, оскільки теплоємність водню у кілька разів перевищує теплоємність повітря. Також, за заданих розмірах ТГ, відповідно підвищиться і його потужність.

За рахунок того, що водень, яким заповнюється корпус машини, має приблизно в 14 разів меншу густину, ніж повітря, істотно зменшуються втрати на тертя о газ частин, що обертаються. Це особливо важливо для швидкохідних синхронних ТГ. Також поліпшуються умови роботи ізоляції, оскільки вона перебуває у середовищі, позбавленому кисню.

При водневому охолодженні замкненого циклу охолоджувач вбудовується в ТГ і вся система ретельно герметизується. Ущільнення перешкоджають проникненню зовнішнього повітря всередину корпусу машини або витоку охолоджуючого газу в атмосферу. Такі системи застосовуються для інтенсивного охолодження машин, що працюють у вибухонебезпечних приміщеннях та у всіх великих ТГ. Коефіцієнт тепловіддачі в сучасному електромашинобудуванні підвищують пристроєм інтенсивного обдування, яке створює аеродинамічний натиск, що забезпечує спрямований рух охолоджуючого газу.

Недоліком таких пристроїв є високий рівень пожежонебезпечності систем зберігання та подачі водню, а також ймовірність виникнення горючої суміші при пошкодженні ущільнень.

В ПМаш НАН України розроблено серію металогідридних акумуляторів-нагнітачів водню, що забезпечують компактне вибухопожежобезпечне зберігання водню протягом необмеженого часу, з його подальшим очищенням та видачею під заданим підвищеним тиском.

Використання таких пристроїв суттєво спрощує схеми систем охолодження шляхом виключення з них газових балонів, компресорів, очисних колон, регуляторів тиску, що суттєво зменшує ризик виникнення вибухонебезпечної ситуації.

Водень в акумуляторах сорбується за низького тиску металогідридним сорбентом. Використовується переважно інтерметалічне з'єднання (ІМЗ)  $\text{LaNi}_5$ . Десорбцію водню здійснюють за допомогою нагрівання за високого тиску. Розроблений пристрій містить магістралі, що підводять і відводять водень, та з'єднується з сорбційним блоком очищення, що має теплообмінник. Після очищення водню проводиться скидання не поглинутих сорбером домішок водню.

Точність регулювання робочих тисків в нагнітальному і відводному патрубках, що залежать від температури металогідриду (МГ), визначає стабільність видачі водню. Тому важливим

завданням під час проектування вибухобезпечних металогідридних пристроїв охолодження є необхідність визначення фазових діаграм систем метал-водень, тобто співвідношення між тиском сорбції (десорбції), складом та температурою МГ.

Запропонований новий підхід [1] до проблеми розрахунку фазових рівноваг у металогібридах полягає у визначенні властивостей водневої підсистеми гідриду, а також рівноважної з ним молекулярної фази  $H_2$  у рамках єдиного методу – модифікованої схеми теорії збурень (МТЗ) [2].

Термодинамічний опис водневої підсистеми в області неупорядкованих фаз виконано з використанням моделі неідеального (взаємодіючого) решіткового газу атомів водню. При цьому враховано як пряму взаємодію між атомами водню, так і непрямі “деформаційні” внески у потенційну енергію внаслідок розширення решітки при розчиненні водню.

Вихідна кристалічна структура ІМЗ у переважній більшості випадків не відрізняється від структури металевої матриці в гідридних фазах систем ІМЗ–водень в області неупорядкованих  $\alpha$ -,  $\beta$ -фаз. У цьому випадку хімічний потенціал  $\mu_H = G_H/N_H$  водневого компонента гідриду ІМЗ (тобто питома, на атом Н, енергія Гіббса  $\mu_H = G_H/N_H$ ) має вигляд:

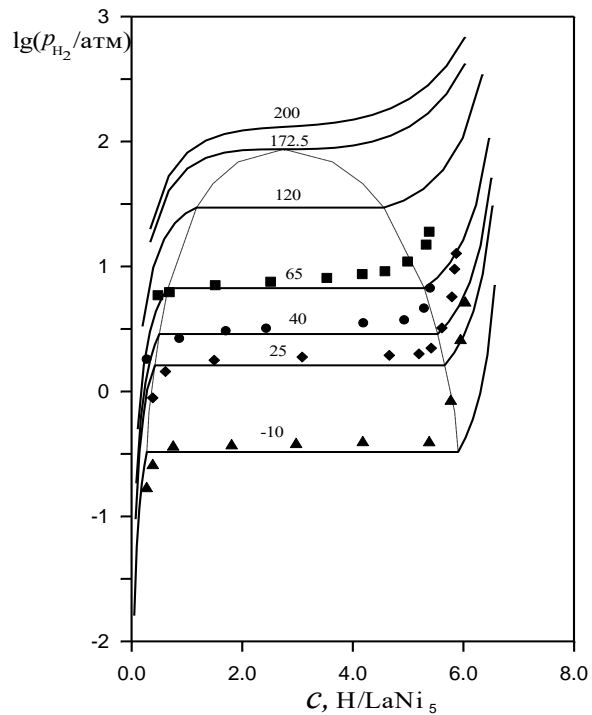
$$\beta\mu_H^+(\theta, T) = \ln \frac{\theta}{1-\theta} + \frac{W_1\theta}{T(1+\alpha c_s\theta)} + \frac{W_2\theta^2}{T^2(1+\alpha c_s\theta)^2}, \quad (1)$$

де  $\beta=1/kT$ ;  $\mu_H^+ = \mu_H - \mu_H^{st}$ ;  $\mu_H^{st}(T)$  – хімічний потенціал у стандартному стані [1];  $\theta=C/C_s$  – відносна концентрація водню (ступінь заповнення міжвузлів, доступних для розчинення Н-атомів);  $C = n_{\text{ММС}} \cdot c$  – концентрація водню як відношення Н/ІМЗ, тобто на формульну одиницю ІМЗ;  $n_{\text{ММС}}$  – число атомів у формульній одиниці;  $c$  – концентрація Н в одиницях Н/Ме, тобто на один атом матриці;  $\alpha = c^{-1}(\Delta V(c)/V)$  – коефіцієнт дилатації решітки ІМЗ при розчиненні водню. Величини  $C_s$  (сорбційна ємність ІМЗ) та  $c_s$  (максимальна концентрація зайнятих міжвузлів), пов'язані співвідношенням  $c_s = C_s/n_{\text{ММС}}$ .

Постійні величини  $W_1$  та  $W_2$ , що описують зв'язок між макроскопічними властивостями розчинів поглинання ІМЗ–водень та мікроскопічними (атомними) характеристиками водневої підсистеми та металевої матриці ІМЗ, рівні:

$$W_1 = 2I_1 n_M (\sigma_1^3 / v_0) E_1 c_s, \quad W_2 = (3I_2 / 4I_1^2) W_1^2, \quad (2)$$

де  $I_1 = -5,585$ ,  $I_2 = 1,262$  – параметри МТЗ для Н-газу [2];  $n_M$  – число атомів матриці в елементарній комірці;  $v_0$  – об'єм комірки при  $C=0$ ;  $E_1 [K]$  та  $\sigma_1 [m]$  – параметри потенціалу (Н–Н)- взаємодії  $u_H(r) = kE_1\phi(r/\sigma_1)$ .



**Рис. 1. Ізотерми розчинності водню у  $\text{LaNi}_5$ .** Температури при розрахункових ізотермах зазначені в  $^{\circ}\text{C}$ . Значки – експериментальні дані про десорбцію.

Зображені на рис. 1 розраховані ізотерми розчинності водню для гідридів  $\text{LaNi}_5$  у широкому діапазоні тисків добре узгоджуються з експериментальними даними.

**Висновки.** Застосування металогідридних охолоджувальних установок електромашин та ТГ дозволяє удосконалити схеми охолодження, виключивши з них вибухонебезпечні газові балони, компресори та очисні колони. Таке вирішення проблем безпечної експлуатації пристроїв охолодження дає можливість запобігати техногенним аваріям.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Marinin V.S. Interacting lattice gas model for hydrogen subsystem of metal hydrides / V.S.Marinin, K.R.Umerenkova, Shmalko Yu.F. // Functional materials – 2002. – Vol. 9, No3. – P. 395–401.
2. Маринин В.С. Теплофизика альтернативных энергоносителей. - Харьков: Форт, 1999. – 212 с.

*Umerenkova K.R., Candidate of Engineering Sci., Associate Professor*

*National University of Civil Protection of Ukraine*

## METAL HYDRIDE TECHNOLOGIES TO PREVENT THE APPEARANCE OF EXPLOSIVE FACTORS IN THE COOLING SYSTEMS OF ELECTROMASHINES

The possibility of using explosion-proof metal hydride cooling systems for electric machines is considered. Methods for calculating the parameters used in the design of such devices are analyzed. Method for calculating the phase equilibria of  $\text{LaNi}_5$  hydrides based on an original statistical-mechanical scheme, a modified perturbation theory, is presented.